

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU ⁽¹¹⁾ 2 634 785 ⁽¹³⁾ C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[G01B 15/00 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 08.10.2018)

(21)(22) Заявка: [2016121279](#), 30.05.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.05.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.05.2016

(45) Опубликовано: [03.11.2017](#) Бюл. № 31(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2052796 C1, 20.01.1996. RU
2380259 C1, 27.01.2010. RU 2398248 C1,
27.08.2010. US 5481266 A, 02.01.1996.

Адрес для переписки:

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности,
Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Носков Владислав Яковлевич (RU),
Игнатков Кирилл Александрович (RU),
Чупахин Андрей Павлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

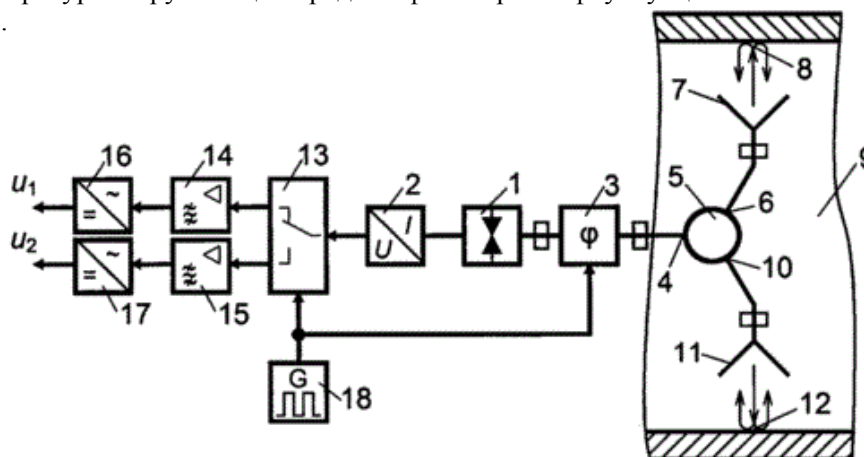
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(54) АВТОДИННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НОМИНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технике неразрушающего контроля изделий, а именно к устройствам для бесконтактного измерения отклонений от номинального значения внутренних размеров металлических изделий с использованием электромагнитного излучения СВЧ диапазона, и может быть применено в машиностроительной, трубопрокатной и химической промышленности. Измеритель содержит автодинный СВЧ генератор, связанный с блоком выделения автодинного сигнала, трехплечий циркулятор, ко второму плечу которого подключена первая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на первую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, а к третьему плечу - вторая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на вторую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, противолежащую первой локальной области. Между автодинным СВЧ генератором и первым входом трехплечевого циркулятора введен проходной двухпозиционный фазовращатель, а к выходу блока выделения автодинного сигнала подключен вход аналогового коммутатора на два положения, к первому и второму выходам которого подключены первый и второй полосовые усилители, выходы которых связаны соответственно с первым и вторым амплитудными детекторами. При этом входы управления проходного двухпозиционного фазовращателя и аналогового коммутатора подключены к выходу тактового генератора. Технический результат заключается в

повышении точности и чувствительности измерений в условиях различия качества обработки или износа внутренней поверхности контролируемых изделий, появления пыли или влаги на пути распространения СВЧ излучения, влияния изменений температуры окружающей среды и фликкерных флуктуаций на показания. 3 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг.1

Изобретение относится к технике неразрушающего контроля изделий, а именно к устройствам для бесконтактного измерения отклонений от номинального значения внутренних размеров металлических изделий с использованием электромагнитного излучения СВЧ диапазона, и может быть применено, в частности, в машиностроительной, трубопрокатной и химической промышленности.

Известны устройства для контроля внутренних размеров металлических изделий с круглым сечением отверстий, содержащие СВЧ генератор (см. SU 637683, 15.12.1978. [1], SU 1355916 A1, 30.11.1987 [2]). Недостатками этих устройств являются низкая чувствительность и сложность аппаратуры, а также недостаточная точность измерений при высокой трудоемкости их выполнения.

Известно устройство для контроля внутренних размеров металлических труб также круглого сечения отверстий, содержащее автодинный СВЧ генератор, в цепь питания которого подключен резистор для выделения автодинного сигнала (см. RU 2052796 C1, 20.01.1996 [3]).

К недостаткам рассмотренных выше устройств относится невозможность определения овальности полости и разностенности труб, а также их непригодность для контроля внутренних размеров труб иной формы сечения, например, прямоугольной.

Известно также устройство для бесконтактного контроля внутренних размеров изделий, содержащее первую и вторую приемопередающие антенны и циркулятор, а также автодинный СВЧ генератор, в цепь питания которого подключен блок выделения автодинного сигнала (см. Носков В.Я. Автодинный СВЧ-датчик для бесконтактного контроля внутренних размеров изделий // 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо' 2013): материалы конференции в 2 т. (Севастополь, 8-13 сент. 2013 г.) Севастополь: Вебер, 2013. Т. 2. С. 1051-1052 [4]).

Недостатком этого устройства является наличие погрешности измерений, связанной с несоосным расположением измерительной головки и измеряемого отверстия, что является не всегда приемлемым в эксплуатации.

Наиболее близким аналогом (прототипом) по технической сущности, принципу действия и достигаемому положительному эффекту является устройство для бесконтактного измерения отклонения от номинального значения внутренних размеров металлических изделий, содержащее автодинный СВЧ генератор, связанный с блоком выделения автодинного сигнала и первым плечом трехплечего циркулятора, ко второму плечу которого подключена первая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на первую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, а к третьему плечу трехплечего циркулятора - вторая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на вторую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, противоположащую первой локальной области (см. RU 2579644 C1 от 11.03.2016, опубл. 20.12.2015, Бюл. №35 [5]).

К недостатку прототипа следует отнести наличие погрешности измерений из-за различия качества обработки или износа внутренней поверхности контролируемых

изделий, появления пыли или влаги на пути распространения СВЧ излучения, влияния изменений температуры окружающей среды на показания, а также необходимости выполнения периодической калибровки устройства. Кроме того, общим недостатком известных устройств является их низкая чувствительность. Это связано с тем, что регистрация выходных сигналов производится по постоянному току (напряжению). Наличие температурного дрейфа и фликкерных флуктуаций ограничивает возможность усиления полученного измерительного сигнала для повышения чувствительности устройства.

Таким образом, техническая задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, состоит в том, чтобы повысить точность и чувствительность измерения внутренних размеров изделий за счет уменьшения погрешности, вызванной изменениями крутизны преобразования датчика в указанных условиях, и исключения влияния температурного дрейфа и фликкерных флуктуаций на величину выходного сигнала.

Технический результат достигается тем, что в автодинном измерителе отклонений от номинального значения внутренних размеров металлических изделий, содержащем автодинный СВЧ генератор, связанный с блоком выделения автодинного сигнала, трехплечий циркулятор, ко второму плечу которого подключена первая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на первую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, а к третьему плечу - вторая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на вторую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, противолежащую первой локальной области, для повышения точности и чувствительности устройства между автодинным СВЧ генератором и первым входом трехплечего циркулятора введен двухпозиционный проходной фазовращатель, а к выходу блока выделения автодинного сигнала подключен вход аналогового коммутатора на два положения, к первому и второму выходам которого подключены первый и второй полосовые усилители, выходы которых связаны соответственно с первым и вторым амплитудными детекторами, при этом входы управления двухпозиционного проходного фазовращателя и аналогового коммутатора подключены к выходу тактового генератора.

Предлагаемое техническое решение обладает новизной, поскольку авторам не известны устройства, содержащие признаки, которые фигурируют в предлагаемом изобретении в качестве отличительных признаков.

Применение в предлагаемом устройстве двухпозиционного проходного фазовращателя, введенного между автодинным СВЧ генератором и первым входом трехплечего циркулятора, обеспечивает при коммутации тактовым генератором сдвига фаз СВЧ излучения получение на выходе блока выделения автодинных сигналов в виде прямоугольных импульсов с частотой тактового генератора. Амплитуда этих импульсов зависит от величин вносимого двухпозиционным проходным фазовращателем сдвигов фазы и отклонения от номинального значения внутренних размеров металлических изделий. Разделение этих импульсов с помощью аналогового коммутатора на два канала, усиление полосовыми усилителями на частоте тактового генератора без постоянной составляющей и последующее их амплитудное детектирование обеспечивают получение двух выходных сигналов. При выборе для двухпозиционного проходного фазовращателя сдвигов фаз 0 и 45 градусов данные сигналы отличаются относительным сдвигом фаз 90 градусов.

Первый выходной сигнал при таком выборе фаз является измерительным, зависящим от величины отклонения размера от номинального значения. Второй сигнал обеспечивает определение на каждом измерении раствора дискриминационной характеристики и, соответственно, крутизны преобразования этого отклонения. При этом учитывается качество обработки или износа внутренней поверхности контролируемых изделий, появления пыли или влаги на пути распространения СВЧ излучения, влияния изменений температуры окружающей среды на показания. Усиление только переменной составляющей импульсов выходного сигнала блока выделения исключает влияние режимных нестабильностей автодинного СВЧ генератора и фликкерных шумов на выходные сигналы устройства.

Таким образом, техническим результатом изобретения является повышение чувствительности и точности измерений, а также исключение необходимости периодической калибровки устройства при сохранении функциональных возможностей прототипа.

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлена структурная схема автодинного датчика; на фиг. 2 приведены эпюры, поясняющие принцип преобразования изменений внутреннего размера изделий в выходной сигнал автодинного СВЧ генератора и определения величины крутизны преобразования.

Автодинный измеритель отклонений от номинального значения внутренних размеров металлических изделий содержит (см. фиг. 1) автодинный СВЧ генератор 1, связанный с блоком выделения автодинного сигнала 2, а также с первым входом двухпозиционного проходного фазовращателя 3, второй вход которого подключен к первому плечу 4 трехплечевого циркулятора 5, ко второму плечу 6 которого подключена первая приемопередающая антенна 7, диаграмма излучения которой направлена на первую локальную область 8 контроля внутренней поверхности изделия 9, а к третьему плечу 10 - вторая приемопередающая антенна 11, диаграмма излучения которой направлена на вторую локальную область 12 контроля внутренней поверхности изделия 9, противолежащую первой локальной области 8, при этом к выходу блока выделения 2 автодинного сигнала подключен вход аналогового коммутатора 13 на два положения, к первому и второму выходам которого подключены первый 14 и второй 15 полосовые усилители, выходы которых связаны соответственно с первым 16 и вторым 17 амплитудными детекторами, при этом входы управления двухпозиционного проходного фазовращателя 3 и аналогового коммутатора 13 подключены к выходу тактового генератора 18.

Автодинный СВЧ генератор 1 может быть выполнен, например, в виде приемопередающего модуля на основе диода Ганна (см. Воторопин С.Д., Носков В.Я. Приемопередающие модули на слаботочных диодах Ганна для автодинных систем // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 1993. №4 (458). С. 70-72. [6]) или генератора со стабилизацией частоты, например, внешним высокочастотным резонатором (см. описание в статье Носков В.Я., Игнатков К.А., Смольский С.М. Экспериментальные исследования автодинных модулей на меза-планарных диодах Ганна СВЧ диапазона // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 2012. №2 (513). С. 17-36. [7]). Второй вариант решения обеспечивает долговременную стабильность работы устройства и дополнительное повышение точности измерений.

Блок 2 выделения автодинного сигнала имеет альтернативные технические решения. Например, при регистрации изменений смещения активных элементов, выполненных на диоде Ганна, блок 2 выделения может быть выполнен в виде резистора в цепи питания диода Ганна (см. патент RU 2052796 C1, 20.01.1996. [3]) или в соответствии с одной из схем, представленных в статье: Носков В.Я., Смольский С.М. Регистрация автодинного сигнала в цепи питания генераторов на полупроводниковых диодах СВЧ. (Обзор) // Техника и приборы СВЧ. 2009. №1. С. 14-26 [8]. При регистрации изменений амплитуды колебаний блок выделения автодинного сигнала обычно выполняется на основе детекторного диода, помещенного в резонатор автодинного СВЧ генератора (см., например, фиг. 2 патента: RU 2295911 C1, 27.03.2007 [9]) или в передающую линию (волновод), связанную с этим резонатором (см., например, фиг. 1 статьи: Kotani M., Mitsui S., Shirahata K. Load-Variation Detector Characteristics of a Detector-Diode Loaded Gunn Oscillator // Electronics and Communications in Japan. 1975. Vol. 58-B. No. 5. P. 60-66 [10]).

Двухпозиционный проходной фазовращатель 3 может быть выполнен на переключаемых отрезках линии передачи в соответствии с рис. 8.16, принцип действия которого описан на стр.259-263 книги: Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ / Под ред. Д.М. Сазонова. - М.: Высшая школа, 1981, 295 с. [11].

Устройство и принцип действия трехплечевого циркулятора 3 описаны на стр. 279-282 книги: Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ / Под ред. Д.М. Сазонова. - М.: Высшая школа, 1981, 295 с. [11].

Аналоговый коммутатор 13 на два положения может быть выполнен на основе одного из четырех элементов, входящих в состав микросхемы K561КТ3 или аналогичной ей (см. Нефедов А.В. Интегральные схемы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т. 5. - М.: КУБК-а, 1997. С. 441-442 [12]).

Первый 14 и второй 15 полосовые усилители могут быть выполненными по схеме, например, полосового фильтра со сложной отрицательной или положительной обратной связью (см. рис. 13.27 и 13.28, на стр. 214-215 книги: Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. М.: Мир, 1983. - 512 с. [13]).

Первый 16 и второй 17 амплитудные детекторы могут быть выполнены на полупроводниковых диодах (см. рис.7.1 на стр.123 книги Радиоприемные устройства / Под ред. А.П. Жуковского. М.: Высшая школа - 1989, 342 с. [14]) или с применением операционных усилителей (см. рис. 5.10, стр.109 книги Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. К.: Техника, 1983. - 213 с. [15]).

Тактовый генератор 18 может иметь различные технические решения, простейшее из них - использование схемы мультивибратора (см. рис. 18.32, на стр. 311 книги:

Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. М.: Мир, 1983. - 512 с. [13]).

Для локализации областей облучения внутренних поверхностей изделий могут быть использованы следующие технические решения:

Первая 8 и вторая 12 приемопередающие антенны могут быть выполнены в виде открытого конца волновода (см. описание прототипа [5]).

На внешней поверхности автодинного датчика вокруг первой 8 и второй 12 приемопередающих антенн для уменьшения потерь СВЧ излучения может быть реализован принцип устройства «дрессельного фланца», имеющего кольцевую канавку глубиной приблизительно в четверть длины волны в свободном пространстве (см. рис. 8.2. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. - М.: Высшая школа. 1970. С. 236 [16]). При этом расстояние от канавки до середины широкой стенки волновода должно быть также приблизительно равно четверти длины волны в свободном пространстве.

Внешняя поверхность корпуса автодинного датчика, за исключением областей раскрыва первой 8 и второй 12 приемопередающих антенн для дополнительного уменьшения потерь СВЧ излучения и влияния отражений от посторонних объектов, может быть покрыта слоем радиопоглощающего полимерного материала, выполненного, например, на основе наполнителя из микросфер карбонильного железа или феррита (см. Радиопоглощающие материалы и покрытия, <http://ru.wikipedia.org> [17]).

Устройство работает следующим образом.

При подаче на устройство напряжения от источника питания (на фиг. 1 он не показан) в автодинном СВЧ генераторе 1 возникают СВЧ колебания, которые в виде первичного излучения распространяются по линии передачи (например, волноводного типа) через проходной двухпозиционный фазовращатель 3, где фаза излучения изменяется на задаваемый этим фазовращателем угол ϕ . Далее это излучение, следуя по пути: первое плечо 4 циркулятора 5 - второе плечо 6 циркулятора 5, поступает в первую приемопередающую антенну 7. Данная антенна 7 формирует излучение, которое облучает первую локальную область 8 на внутренней поверхности изделия 9 с одной его стороны. Отраженное от первой локальной области 8 СВЧ излучение возвращается в первую приемопередающую антенну 7 и далее, благодаря развязывающему свойству циркулятора 5, отделяется от облучающего излучения, следуя волноводным трактом по пути: второе плечо 6 циркулятора 5 - третье плечо 10 циркулятора 5, поступает во вторую приемопередающую антенну 11. Вторая приемопередающая антенна 11 формирует СВЧ излучение, которое облучает вторую локальную область 12 на внутренней поверхности изделия 9, но с противоположной стороны отверстия относительно первой локальной области 8. Отраженное от второй локальной области 12 СВЧ излучение возвращается во вторую приемопередающую антенну 11 и далее, благодаря развязывающему свойству циркулятора 5, отделяется от облучающего излучения, следуя волноводным трактом по пути: третье плечо 10 циркулятора 5 - первое плечо 4 циркулятора 5, поступает в проходной двухпозиционный фазовращатель 3. Проходя через проходной двухпозиционный фазовращатель 3, данное излучение дополнительно изменяет свою фазу на заданный угол ϕ и поступает в резонатор автодинного СВЧ генератора 1 в виде вторичного излучения.

Вторичное излучение в автодинном СВЧ генераторе 1 вызывает изменения частоты $\Delta\omega$ генерации, а также амплитуды a колебаний и величины смещения v (тока или напряжения) активного элемента (диода Ганна, лавинно-пролетного диода, СВЧ транзистора и др.). Влиянием изменений частоты $\Delta\omega$, особенно при использовании стабилизированных СВЧ генераторов, на формирование автодинных сигналов можно пренебречь. Тогда для первого случая, когда проходной двухпозиционный фазовращатель 3 вносит в СВЧ излучение фазовый сдвиг ϕ_1 , относительные изменения величины смещения на активном элементе и амплитуды колебаний описываются следующими выражениями (см. формулы (3), (4) статьи: Носков В.Я. Анализ автодинного СВЧ датчика для бесконтактного измерения и контроля размеров изделий // Измерительная техника. 1992. №3. С. 24-26. [18]):

$$v_1 = \Gamma_1 \Gamma_2 W K_0 \cos[(4\pi l / \lambda) + 2\phi_1 - \psi_0],$$

$$a_1 = \Gamma_1 \Gamma_2 W K_a \cos[(4\pi l / \lambda) + 2\phi_1 - \psi_1],$$

где

v_1 - относительные изменения смещения активного элемента автодинного СВЧ

генератора 1 для первого случая;

a_1 - относительные изменения амплитуды колебаний автодинного СВЧ генератора 2 для первого случая;

Γ_1, Γ_2 - коэффициенты отражения (по амплитуде) СВЧ излучения от первой 9 и второй 13 локальных областей на внутренней поверхности изделия 10;

W - амплитудный коэффициент затухания излучения при его распространении волноводным трактом по пути: первый 1 автодинный СВЧ генератор - первая локальная область отражения 9 на внутренней поверхности изделия 10 - вторая локальная область 13 отражения на внутренней поверхности изделия 10 - первый 1 автодинный СВЧ генератор;

K_0, K_a - коэффициенты автодетектирования и автодинного усиления, зависящие от внутренних параметров автодинного СВЧ генератора 1;

l - общее расстояние, пройденное СВЧ излучением по пути: автодинный СВЧ генератор 1 - первая локальная область 8 отражения на внутренней поверхности изделия 9 - вторая локальная область 12 отражения на внутренней поверхности изделия 9 - автодинный СВЧ генератор 1;

ψ_0, ψ_1 - углы фазового смещения соответствующих автодинных изменений, зависящие от внутренних параметров автодинного СВЧ генератора 1;

λ - длина волны СВЧ излучения в передающем тракте.

Для второго случая, когда проходной двухпозиционный фазовращатель 3 вносит в СВЧ излучение фазовый сдвиг ϕ_2 , относительные изменения величины смещения v_2 активного элемента и амплитуды a_2 колебаний описываются следующими выражениями:

$$v_2 = \Gamma_1 \Gamma_2 W K_0 \cos[(4\pi l/\lambda) + 2\phi_2 - \psi_0],$$

$$a_2 = \Gamma_1 \Gamma_2 W K_a \cos[(4\pi l/\lambda) + 2\phi_2 - \psi_1].$$

Изменения смещения v_1, v_2 активного элемента и амплитуды a_1, a_2 колебаний автодинного СВЧ генератора 1 с помощью блока 2 выделения автодинного сигнала преобразуются в выходные сигналы u_{c1}, u_{c2} , которые попарно (v_1, v_2 и a_1, a_2) отличаются лишь углами относительного фазового смещения, зависящего от разности фаз $\Delta\phi = 2(\phi_1 - \phi_2)$, вносимой проходным двухпозиционным фазовращателем 3 для первого и второго случаев. При выборе этой разности 90 градусов выражения для выходных сигналов блока 2 выделения автодинных сигналов без учета углов ψ_0 и ψ_1 запишем в виде:

$$u_{c1}(l) = U_m \cos[(4\pi l/\lambda)],$$

$$u_{c2}(l) = U_m \cos[(4\pi l/\lambda) + (\pi/2)],$$

где

$$U_m = A_0 \Gamma_1 \Gamma_2 W K_1 - \text{амплитуда автодинного сигнала на выходе блока 2 выделения};$$

A_0 - амплитуда колебаний автодинного СВЧ генератора 1.

Под действием периодически изменяющегося по прямоугольному закону (например, в виде меандра) выходного напряжения тактового генератора 18 вносимый проходным двухпозиционным фазовращателем 3 фазовый сдвиг СВЧ излучения в передающем тракте автодинного измерителя также периодически меняется. Это вызывает на выходе блока 2 выделения автодинного сигнала периодические изменения его уровня. С помощью аналогового коммутатора 13 на два положения, управляемого тактовым генератором 18, выходной сигнал блока 2 выделения разделяется на два сигнала, каждому из которых соответствует свой сдвиг фазы СВЧ излучения в передающем тракте автодинного измерителя.

Эти сигналы далее подаются на входы полосовых усилителей 14 и 15, имеющих центральную частоту равной частоте тактового генератора 18, и усиливаются по амплитуде. С выходов усилителей 14 и 15 усиленные по амплитуде сигналы далее соответственно поступают на амплитудные детекторы 16 и 17, где переменные напряжения сигналов преобразуются в постоянные напряжения сигналов. Выражения для данных сигналов запишем в виде:

$$u_1(l) = A_{m1} \cos[(4\pi l/\lambda)],$$

$$u_2(l) = A_{m2} \cos[(4\pi l/\lambda) + (\pi/2)],$$

где

$A_{m1} = U_m K_{yc1} K_{дет1}, A_{m2} = U_m K_{yc2} K_{дет2}$ - амплитуды автодинных сигналов на выходе устройства;

K_{yc1}, K_{yc2} - коэффициенты усиления полосовых усилителей 14 и 15 с учетом потерь постоянной составляющей выходного сигнала блока выделения 2;

$K_{дет1}, K_{дет2}$ - коэффициенты передачи амплитудных детекторов 16 и 17.

На фиг. 2, поясняющей принцип преобразования отклонений от номинального значения внутреннего размера Δl изделия в выходные сигналы, представлен вид функций $u_1(l)$ и $u_2(l)$. В окрестности рабочей точки D_0 функция $u_1(l)$ имеет смысл дискриминационной характеристики автодинного датчика: $u_1 = u_1(\Delta l)$. В этой точке обеспечивается наибольшая крутизна преобразования $S_{пр}$, которая определяется как первая производная функции $u_1(l)$ в этой точке: $S_{пр} = 4\pi A_{m1}/\lambda$.

При этом в рабочей точке D_A функции $u_2(l)$ выходной сигнал соответствует уровню его амплитуды $u_2(l) = A_{m2}$. Данный уровень точно также зависит от параметров Γ_1 , Γ_2 , W , как и уровень амплитуды A_{m1} сигнала $u_1(l)$. При этом зависимость этих амплитуд от значений коэффициентов K_{yc1} , K_{yc2} усиления полосовых усилителей 14, 15 и коэффициентов $K_{дет1}$, $K_{дет2}$ передачи амплитудных детекторов 16, 17 можно выровнять соответствующей регулировкой в этих узлах. Поэтому графики $u_1(l)$ и $u_2(l)$ на фиг. 2 построены при одинаковой амплитуде $A_m = A_{m1} = A_{m2}$ и получаемое в точке D_A значение A_{m2} может учитываться при вычислении крутизны $S_{пр}$ дискриминационной характеристики $u_1(l)$.

Перед проведением измерений внутренних размеров изделий сначала находят положение рабочей точки D_0 . Для этого автодинный измеритель вводят в полость образцового изделия (ОИ) с номинальным значением внутреннего размера $l_{обр}$ (см. эпюры на фиг. 2) и выполняют регулировку электрической длины волноводного тракта между автодинным СВЧ генератором 1 и проходным двухпозиционным фазовращателем 3. Это достигается изменением его физической протяженности или введением в этот тракт дополнительного регулируемого фазовращателя. Данную регулировку выполняют до нахождения такой электрической длины волноводного тракта, при которой выходной сигнал блока 2 выделения автодинного сигнала обеспечивает свое среднее значение $u_{l_{обр}}$ на дискриминационной характеристике, соответствующее рабочей точке D_0 .

Для измерения отклонения $\Delta l_{изм}$ внутренних размеров $l_{кон}$ контролируемого изделия от номинального значения $\Delta l_{изм} = l_{кон} - l_{обр}$ автодинный измеритель помещают в полость контролируемого изделия (КИ) (см. эпюры на фиг. 2). Полученное значение отклонения выходного сигнала $\Delta u_{изм} = u_{l_{кон}} - u_{l_{обр}}$ умножают на величину крутизны преобразования $S_{пр}$ и получают искомый результат: $\Delta l_{изм} = \Delta u_{изм} S_{пр}$. При этом крутизна преобразования находится как: $S_{пр} = 4\pi u_{2кон}/\lambda$, где $u_{2кон}$ - значение выходного сигнала на выходе блока 2 выделения автодинного сигнала. Отметим, что при выборе длины волны λ излучения автодинного измерителя такой, что измеряемые максимальные отклонения $\Delta l_{изм}$ размеров $\Delta l_{изм(макс)} \ll \lambda/8$, влиянием отклонений $u_{2кон}$ от значения $u_{2обр}$ можно пренебречь.

Таким образом, предложенный автодинный датчик обеспечивает возможность при выполнении измерений одновременно учитывать изменения крутизны преобразования, вызванной указанными в критике прототипа факторами, и тем самым повысить точность измерений и исключить операцию периодической калибровки. Перенос выходных автодинных сигналов блока 2 выделения на частоту тактового генератора 18 позволяет исключить влияния нестабильности постоянной составляющей сигналов, которая связана с температурным дрейфом и фликкерными флуктуациями автодинного СВЧ генератора 1. Это обеспечивает возможность усиления сигналов первым 14 и вторым 15 полосовыми усилителями и соответствующее повышение чувствительности автодинного измерителя. Кроме того, при выборе частоты тактового генератора 18 выше частотного диапазона фликкерных шумов предлагаемый автодинный измеритель обеспечивает уменьшение в выходных сигналах уровня собственных шумов. Это повышает разрешающую способность предлагаемого устройства [19], что является его дополнительным преимуществом.

При использовании предлагаемого датчика для измерения внутренних диаметров круглых отверстий и труб локализация областей облучения внутренней поверхности изделия позволяет выполнять измерения в зависимости от угла поворота датчика. Это обеспечивает возможность определять овальность и, при известных внешних размерах трубы, - ее разностенность, а также некоторые механические дефекты, например раковины, вмятины и трещины. При придании датчику формы, соответствующей форме внутреннего сечения полости изделия, с возможностью помещения его внутри этой полости, обеспечивает возможность измерения

внутренних размеров не только ее круглой формы, но и любой иной, например овальной, прямоугольной, или в виде многогранников.

Таким образом, предлагаемое устройство обеспечивает повышение точности и чувствительности измерений при сохранении функциональных возможностей прототипа, исключает при этом выполнение периодической калибровки, что снижает также трудоемкость выполнения измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авт. свид. №637683 (СССР). Устройство для контроля внутренних размеров круглого волновода. МКИ² G01R 29/08. Оpubл. 19.12.1978., БИ №46. / А.Д. Олейников.
2. Авт. свид. №1355916 А1 (СССР). Датчик для контроля внутренних размеров металлических труб. МКИ⁴ G01N 22/00. Оpubл. 30.11.1987., БИ №44. / И.Е. Куров, П.А. Путилов, В.В. Потапов, В.В. Козлов, М.И. Гуревич, Г.П. Путилова, С.В. Перельман, Л.Ф. Циферблат.
3. Патент №2052796 С1 (РФ). Устройство для контроля внутренних размеров металлических труб. МКИ⁶ G01N 22/00, G01B 7/16. Оpubл. 20.01.1996., БИ №2. / И.Е. Куров, Е.М. Гершензон, П.А. Путилов, Г.П. Путилова, В.В. Потапов, В.В. Козлов.
4. Носков В.Я. Автодинный СВЧ-датчик для бесконтактного контроля внутренних размеров изделий // 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013): материалы конф. в 2 т. (Севастополь, 8-13 сент. 2013 г.) Севастополь: Вебер, 2013. Т. 2. С 1051-1052.
5. Патент №2579644 С1 (РФ). Способ бесконтактного измерения отклонений от номинального значения внутренних размеров металлических изделий и устройство для его осуществления МКИ G01N 22/00, G01B 15/00. Оpubл. 20.12.2015, Бюл. №35. / В.Я. Носков.
6. Воторопин С.Д., Носков В.Я. Приемопередающие модули на слаботочных диодах Ганна для автодинных систем // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 1993. №4 (458). С. 70-72.
7. Носков В.Я., Игнатков К.А., Смольский С.М. Экспериментальные исследования автодинных модулей на меза-планарных диодах Ганна КВЧ диапазона // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 2012. №2 (513). С. 17-36.
8. Носков В.Я., Смольский С.М. Регистрация автодинного сигнала в цепи питания генераторов на полупроводниковых диодах СВЧ. (Обзор) // Техника и приборы СВЧ. 2009. №1. С. 14-26.
9. Патент №2295911 С1 (РФ). Способ дистанционного контроля физиологических параметров жизнедеятельности организма. МПК А61В 5/05. Оpubл. 27.03.2007, Бюл. №9. / Д.А. Усанов, Ал. В. Скрипаль, Ан. В. Скрипаль, Ал. В. Абрамов, А.Э. Постельга, А.С. Боголюбов.
10. Kotani M., Mitsui S., Shirahata K. Load-Variation Detector Characteristics of a Detector-Diode Loaded Gunn Oscillator // Electronics and Communications in Japan. 1975. Vol. 58-B. No. 5. P. 60-66.
11. Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ / Под ред. Д.М. Сазонова. -М.: Высшая школа, 1981, 295 с.
12. Нефедов А.В. Интегральные схемы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т. 5. - М.: КУБК-а, 1997. С. 441-442.
13. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. М.: Мир, 1983. - 512 с.
14. Радиоприемные устройства / Под ред. А.П. Жуковского. М.: Высшая школа - 1989, 342 с.
15. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. К.: Техника, 1983. - 213 с.
16. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. М.: Высшая школа. 1970. 439 с.
17. Радиопоглощающие материалы и покрытия // Интернет <http://ru.wikipedia.org>
18. Носков В.Я. Анализ автодинного СВЧ датчика для бесконтактного измерения и контроля размеров изделий // Измерительная техника. 1992. №3. С. 24-26.
19. Носков В.Я. Анализ влияния шумов на характеристики автодинных измерителей вибраций и малых перемещений // Измерительная техника. 2014. №9. С. 49-53.

Формула изобретения

1. Автодинный измеритель отклонений от номинального значения внутренних размеров металлических изделий, содержащий автодинный СВЧ генератор, связанный с блоком выделения автодинного сигнала, трехплечий циркулятор, ко

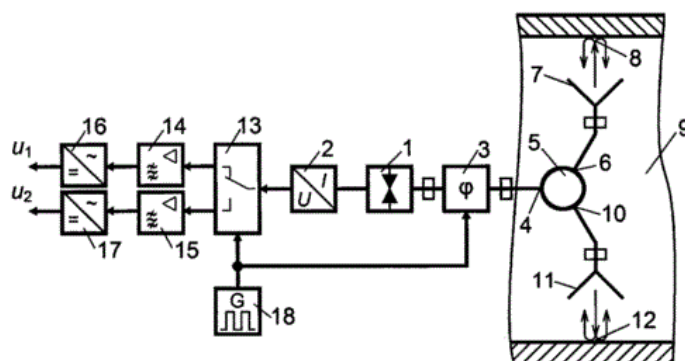
второму плечу которого подключена первая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на первую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, а к третьему плечу - вторая приемопередающая антенна, диаграмма излучения которой направлена на вторую локальную область контроля внутренней поверхности изделия, противоположающую первой локальной области, отличающийся тем, что между автодинным СВЧ генератором и первым входом трехплечего циркулятора введен проходной двухпозиционный фазовращатель, а к выходу блока выделения автодинного сигнала подключен вход аналогового коммутатора на два положения, к первому и второму выходам которого подключены первый и второй полосовые усилители, выходы которых связаны соответственно с первым и вторым амплитудными детекторами, при этом входы управления проходного двухпозиционного фазовращателя и аналогового коммутатора подключены к выходу тактового генератора.

2. Автодинный измеритель по п. 1, отличающийся тем, что проходной двухпозиционный фазовращатель выполнен на переключаемых отрезках линии передачи с фазовыми сдвигами 0 и 45 градусов.

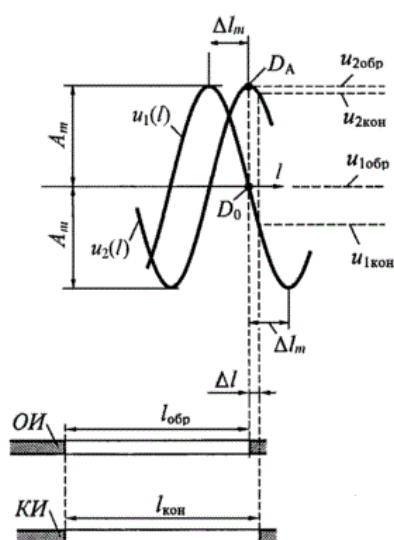
3. Автодинный измеритель по п. 1, отличающийся тем, что автодинный СВЧ генератор выполнен в виде СВЧ генератора со стабилизацией частоты внешним высокочастотным резонатором.

4. Автодинный измеритель по п. 1, отличающийся тем, что первая и вторая приемопередающие антенны выполнены в виде открытого конца волновода.

**АВТОДИННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ НОМИНАЛЬНОГО
ЗНАЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**



Фиг. 1.



Фиг. 2.